

„Kunst“ oder Wissenschaft im Konstruktiven Ingenieurbau? Zum Umgang mit Wissensformen im 20. Jahrhundert

Falk Seliger

1. Einleitung

Obwohl im Titel der Konstruktive Ingenieurbau als Disziplin angegeben ist, soll gleich zu Beginn darauf hingewiesen werden, daß dieser nur exemplarisch für Tendenzen in den Ingenieurwissenschaften steht. Die vorliegende Arbeit stellt weniger einen Forschungsbericht denn ein Forschungsprogramm dar, ist also ein Ausgangspunkt für nachfolgende Detailstudien. In der vorliegenden Arbeit werden lediglich Zugriffswege und -mittel skizziert.

Zur Annäherung an das Bauingenieurwesen soll vorab auf die Ingenieurwissenschaften im Allgemeinen eingegangen werden. Diese sind nicht als angewandte Naturwissenschaften zu verstehen, sondern besitzen ihren eigenen, schöpferischen und nur zum Teil empirisch-epistemischen Charakter. Die Ingenieurwissenschaften nutzen teilweise Methoden mit empirisch-probabilistischen Grundlagen.

Es ist zu bemerken, daß sich im Verlauf des 19. Jahrhunderts das ehemals personengebundene und mit nur wenigen verbalisierbaren Handlungsrouinen versehene Können, das traditionell als „Kunst“ bezeichnet wurde, in den Ingenieurwissenschaften aufging. Letztere „objektivierten“ diese „Kunst“ durch die systematische Anwendung von allgemein anerkannten Normen und Methoden. Es entstanden also technikwissenschaftliche Disziplinen mit gemeinsamen Inhalten, Methoden, Institutionen und Organisationsstrukturen.¹

Die gemeinsame Auffassung war, daß der Fortschritt einzig und allein an die immer intensivere und umfassendere Anwendung wissenschaftlicher Methoden gebunden sein müsse. Trotzdem bleibt die Frage, ob die Arbeit in der Praxis tatsächlich so aussah, bestehen.² Für die Frühphase der Ingenieurwissenschaften, als auch Statik und Festigkeitslehre noch am Anfang standen, ist ein sehr instruktives Beispiel zu nennen: Die Konstruktion eines in seinen Ausmaßen neuen Gasometers in Berlin ist wohl im Jahr 1845 wie üblich intuitiv erfolgt. Die Berechnungen für den statischen Nachweis zur Erteilung der Baugenehmigung und zur Beruhigung der Sorge um die öffentliche Sicherheit wurden jedoch nachträglich übergestülpt. Dadurch wurde ein irrationales Idealbild der Konstruktion aufgebaut, welches man rational erklärte. Auch der „Cremona-Plan“³, eine speziell zugeschnittene Methode des Entwurfsprozesses, galt im Maschinenbau als Vorbild, den Entwurf in einer Methode zu fassen. Genauer betrachtet, muß jedoch bei dessen Anwendung die Grundidee, also das Funktionsmodell, schon erdacht sein. In der graphischen Statik wurde das „geometrische Ideal“ benutzt, obwohl

nur Näherungswerte möglich waren, erst danach folgte das „mathematische Ideal“. Die Herangehensweise der Akteure muß immer wieder individuell unterschieden werden. Von Konstrukteuren, die bereits ein Gefühl für ihre Arbeit entwickelt hatten, ist die Rechnung stets nur als Überprüfung der anders erlangten Ergebnisse eingesetzt worden. Diejenigen, welche die Rechnung zum Paradigma erhoben, sind innerhalb der Profession stets abwertend als „Hosenbodenstatiker“ bezeichnet worden.

Entwurfsmethoden waren und sind durchaus hilfreich und machen das Entwerfen erst *lehrbar*. Diese generelle Vermittelbarkeit ist eine, wenn nicht *die* Hauptforderung an die Wissenschaft. Die „Betriebsnähe“ darf indessen nicht verloren gehen. Das zu vermeiden, wurde im Jahr 1960 vom Wissenschaftsrat der Bundesrepublik Deutschland die Empfehlung an die Hochschulen herausgegeben, Lehrstühle für Baukonstruktion zu errichten.⁴ Die Umsetzung folgte in den 1960er Jahren, parallel zu Entwicklungen im Maschinenbau. Eine erfolgreiche Maßnahme in der DDR, die bis heute Bestand hat, war die Einrichtung von studentischen Konstruktionsbüros an der TU Dresden in den 1980er Jahren.⁵

Sowohl in der DDR als auch in der BRD konstatierte man seit den 1950er Jahren eine Unterbewertung der Maschinenbau-Konstrukteure, die auf die Mechanisierungs- und Automatisierungsfortschritte in der Fertigung und das Zurückbleiben der Konstruktorsarbeit zurückgeht. Damit fielen auch das Ansehen und die Bezahlung des Konstrukteurs geringer aus. Im Bauingenieurwesen dagegen kann bis heute – außer in Ansätzen beim Fertigteilhaus- oder Stahlbau – von Mechanisierung und erst recht von Automatisierung keine Rede sein, was dem Entwurfsingenieur nach wie vor ein hohes Ansehen sichert.

Ob es ferner günstig ist, statt des technischen Wissens und Könnens das technische Handeln⁶ zu betrachten, ist eine Frage der Bearbeitungsmöglichkeit. Auf welche Weise ein Ergebnis erzielt wurde, läßt sich schließlich bei Normenentsprechung oft nur vermuten. Allerdings spiegelt sich in der publizistischen Darstellung der Akteure nach außen, in Normenfestlegungen sowie Lehr- und Forschungsprogrammen das jeweils bestehende Selbstverständnis der benötigten kognitiven Voraussetzungen eines Ingenieurs wider.

Die Betrachtung ist zwar auf den deutschsprachigen Raum fokussiert, da jedoch viele Entwicklungen von außen angestoßen wurden, sind Einflüsse und Wechselwirkungen nicht ausgeschlossen. Entsprechend dem Forschungsstand wird dabei überwiegend thesenhaft vorgegangen. Es sollen besonders die Ausgangspunkte der einzelnen Wege – die „Indikatoren“ – skizziert werden.

2. Gesamttendenz im Ingenieurwesen

Über die Handhabung kognitiv schöpferischer Prozesse existieren aus den 1980er und 1990er Jahren einige historische und soziologische Abhandlungen –

genannt seien E. FERGUSON⁷ oder W. VINCENTI⁸. Die großen Dimensionen im und komplexen Umwelteinflüsse auf das Bauwesen machen allerdings den Nachweis derjenigen Phasen schwierig, in denen Verschiebungen zwischen den Polen Wissenschaft und Intuition stattgefunden haben. Deswegen ist hier die „ingenieurmäßige Einschätzung“ auch mit Blick auf die Zukunft zu keiner Zeit vollkommen verneint worden. Die politischen und gesellschaftlichen Einwirkungen auf das jeweilige Bauschaffen sowie nicht zuletzt die ästhetischen Komponenten sind zwar auch von Bedeutung, spielen aber beim Umgang mit Wissen im rein technischen Bereich eine untergeordnete Rolle.

Der Prozeß der Herausbildung technikwissenschaftlicher Disziplinen im 19. Jahrhundert und die bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts intensivierte Verwissenschaftlichung⁹ von Technik werden hier nur als ein Beleg für die fortlaufende Entwicklung des Theoretisierungsgrades herangezogen. Daß sich auf dem Weg zur „reinen Wissenschaft“ aufgrund erfahrener Grenzen schon um die Jahrhundertmitte ein kurzzeitiger Stimmungswandel in den westlichen Staaten bemerkbar gemacht haben könnte, soll vorerst nur angemerkt sein. In der DDR hingegen sind eindeutige technische und technologische Kontinuitäten in bezug auf die Zeit des Nationalsozialismus feststellbar. Diese wurden durch das politische System der DDR bedingt, welches sich zwar formal an der Sowjetunion orientierte, aber an der Technikrezeption des Dritten Reiches anknüpfte.

Die fortschreitende Entwicklung der Rechentechnik brachte dann eine die politischen Lager überschreitende Vision der Automatisierung nicht nur der Produktion, sondern auch von Planungs- und Entwurfsaufgaben mit sich. Diese Perspektive schlug sich auch in Programmen nieder, so wurde der „Austritt des Menschen aus der Produktion“ propagiert und betrieben. In der DDR sollte die „sozialistische Wissenschaftlich-technische Revolution“ (WTR) der Königsweg dazu sein.

Durch die veränderten Bedingungen im Arbeitsumfeld der Ingenieure wurden jedoch bald *selbst geschaffene* Defizite deutlich:

- Zurückdrängen einer intuitiven Beherrschung von Technik, hervorgerufen durch die immer stärker eingeschränkte Sinnlichkeit,
- Verengung des Blickes für das Ganze durch fortschreitende Spezialisierung,
- Delegitimierung einer intuitiven Schöpfung von Technik, impliziert durch das Anstreben der absoluten Algorithmierung von Berechnungsprozessen,
- durch die Rechentechnik forciertes, teilweise weit über die Anforderungen der Praxis hinausgehender Genauigkeitsgrad.

Man erkannte, daß es nicht nur im handwerklichen Bereich, dem Gebiet mit einem direkten Kontakt zur Sinneswelt, eine körperliche „Kunstfertigkeit“ gibt und auch weiterhin geben wird. Darüber hinaus betonte man wieder, daß in gewisser Weise jede schöpferische Tätigkeit, auch die kognitive, von „tacit knowledge“

oder „personal knowledge“ und von Erfahrungswissen abhängig ist. Wenn der Terminus „tacit knowledge“ in der vorliegenden Arbeit benutzt wird, dann nur, weil er sich mittlerweile aus der Wortschöpfung Michael POLANYIS heraus eingebürgert hat.¹⁰

Es ist sicherlich sinnvoller, den vormodernen Kunstbegriff im ursprünglichen Sinn zu verwenden. Mißverständnisse entstehen vor allem aus einer Konfrontation mit dem heute einschichtigen Kunstbegriff und der Veränderung der Ingenieurkunst an sich: Hat der klassische Ingenieur seine Schöpfungen vornehmlich intuitiv mit verinnerlichtem Erfahrungswissen hervorgebracht, ist es heute überwiegend so, daß wissenschaftliche Theorien und Methoden verinnerlicht und dann ebenso intuitiv angewendet werden können.

Nachdem Kunst *in* der Wissenschaft thematisiert wurde, folgte die Erkenntnis, daß es durchaus fruchtbar sein könnte, alternative Deutungsmuster und Herangehensweisen *wieder* in die Betrachtung einzubeziehen. Darin ist sicher keine Rückentwicklung zu sehen, sondern ein Verlassen des *ausschließlichen* Weges in Richtung einer Wissenschaft, deren praktische Grenzen man erkannt hat. Das soll nicht bedeuten, in die Ingenieurpraxis sei eine verlorene Komponente wieder eingeführt worden, sie war dort latent immer vorhanden. Erst das Überdenken der bisher nicht hinterfragten eigenen Position der Ingenieure, also eine Reflexivität, wie sie als ein Teil der Theorie der Reflexiven Modernisierung beschrieben ist, brachte dort neue Impulse.¹¹

Abgesehen von Einzelstimmen sind Kritiken an den aktuellen Tendenzen in umfangreichem Maße seit den 1980er Jahren zu verzeichnen.¹² Es handelt sich dabei nicht um eine abrupte Wende im strengen Sinn, sondern um das langsame Umschlagen von Quantitäten zu neuer Qualität. Die wohl bedeutendste Hemmschwelle für die Adaption alternativer Wissens- oder besser Könnens-Formen besteht in der gesellschaftspolitischen Akzeptanz, also in der Möglichkeit, eine technische Schöpfung zu evaluieren.

In der Moderne wurde – wie schon bemerkt – das persönliche Können durch allgemein zugängliche Wissenschaft verdrängt. Damit wurde gleichzeitig der Beweis durch die Autorität des Schaffenden wie des Beurteilenden zumindest vordergründig in Frage gestellt. Es muß jedoch eingeschränkt werden, daß der Laie den technischen Experten weiterhin als kompetenten Fachmann betrachtete und dessen Urteilen und Entwürfen Glauben schenken mußte. Der technische Experte argumentierte jetzt jedoch nicht mehr mit seinem persönlichen Können, sondern berief sich auf den Faktor Wissenschaft. Der „Wissens-Beweis“ hervorbrachter Resultate verdrängte vor allen Dingen bei technischen Entwürfen, welche die Sicherheit Dritter berührten, den „Könnens-Beweis“ und steht letzterem genau wegen des Sicherheitsbedürfnisses auch weiterhin im Wege. Ein wissenschaftlich abgesichertes Ergebnis kann jedoch auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden. Deshalb lauten die weiterführenden Fragen: Welche Auswir-

kungen würde die Anerkennung intuitiv-heuristischer Methoden haben? Auf welche Weise könnten diesbezüglich funktionierende Institutionen geschaffen werden?

3. Denkpsychologie

Eine nicht unerhebliche Anzahl von Abhandlungen zur Erfindungssuche, zur Festlegung einer allgemeinen Heuristik, hat es schon in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gegeben. Genannt seien hier Max EYTH¹³, Ernst MACH¹⁴, Henry POINCARÉ¹⁵ oder George POLYA¹⁶. Alle diese Studien schenken dem der Erfindung zugeordneten „revolutionären Sprung“ die größte Beachtung. Er wurde mit dem Imperativ beschrieben: „Warten bis zum Einfall.“¹⁷ Hierbei muß allerdings unterschieden werden, ob dieser Einfall als vom Erfinder abhängig oder als göttliche Gabe angesehen wurde. Norbert WIENER hat diese Studien durch einen neuen Fortschrittsglauben, der das Erfinden in das Umfeld der Kybernetik holte, vergessen gemacht.¹⁸ Die Renaissance der Erfinderliteratur in den 1970er Jahren ist eventuell als ein Vorbote von Strömungen in den Ingenieurwissenschaften zu werten, welche diesen Trend kritisch beobachteten. Bei dem nachfolgenden Zitat beispielsweise läßt sich nur sehr schwer entscheiden, ob es vor oder nach der Hochkonjunktur der Kybernetik in den 1960er Jahren verfaßt wurde:

„So wenig wie Fernrohr und Mikroskop unser menschliches Auge überflüssig zu machen vermögen, so wenig könnte eine Maschine unser Denken und Erfinden (zwar ‘verlängern’, aber) nicht überflüssig machen.“¹⁹

Es bleibt außerdem festzuhalten, daß Optimierungen und Anpassungen der Konstruktion stets als zu automatisierende Arbeitsphasen betrachtet wurden. Das trifft jedoch nicht auf Qualitätssprünge zu, die kaum als das Ergebnis algorithmisierter oder gar automatisierter Arbeit gedacht werden können. Dafür sollen zwei einfache Beispiele stehen:

Eugène FREYSSINET (1879–1962) bezeichnete noch im Jahr 1938 die Schaffung des Spannbetons als „Une révolution dans l’art de bâtir“²⁰ – also als Umwälzung in der „Baukunst“. Das Kompositum „Kunst“ hat indessen trotz der theorielastigen Ausrichtung des staatlichen französischen Ingenieurwesens eine lange Tradition.²¹ Die Idee des Spannbetons geht bis in das 19. Jahrhundert zurück. Man kann vor FREYSSINET auch Franz DISCHINGERS (1887–1953) Konzept der verbundlosen Vorspannung außerhalb des Betonquerschnitts heranziehen. Von Bedeutung ist aber allein das Prinzip der qualitativen Neuentwicklung: Es wurden nicht nur Baustoffe oder Bauglieder verbunden, sondern es wurde eine völlig neue Funktion realisiert.

Ein zweites Beispiel sind die unterschiedlichen, aber praktisch relevanten Reaktionen auf eine bautechnische Fehlentwicklung: Nach dem Einsturz der Tacoma-Bridge im Jahr 1940 wurden in Nordamerika die elastischen Fahrbahnen von

Hängebrücken verstärkt und versteift – eine Anpassung in bezug auf die Symptome.²² Der deutsche Bauingenieur Fritz LEONHARDT (1909–1999) dagegen ging den Ursachen nach und verringerte den Windwiderstand der Fahrbahnen gegen Null.²³

Der Erfindungssuche ist auch im Bauingenieurwesen der DDR durchaus Interesse entgegengebracht worden. So wurde von Seiten der Deutschen Bauakademie in den 1980er Jahren intensiv das „wissenschaftlich-technische Schöpfer-tum“ untersucht.²⁴

4. Bauingenieurwesen

Kognitiv schöpferische Prozesse lassen sich im Bauingenieurwesen vordergründig auf zwei Gebieten verorten: beim Entwurf der Baukonstruktion als technisch funktionsfähiges Gebilde sowie bei der Gestaltgebung und ästhetischen Anordnung eines Bauwerks bzw. mehrerer Bauwerke.²⁵ Da die ästhetische Gestaltung hauptsächlich in das Metier des Architekten fällt, soll sie an dieser Stelle nicht behandelt werden. Die Bestrebungen zur Annäherung von Bauingenieuren und Architekten durch eine Ausbildung, wie sie seit den 1960er Jahren zum Beispiel im „Dortmunder Modell“²⁶ festzustellen sind, sollen das Verständnis der beiden Professionen füreinander stärken und Kompetenzprobleme lösen. Die außerhalb des Entwurfs angesiedelten Tätigkeiten von Bauingenieuren sind natürlich nicht frei von „tacit skills“:

1. In der Bauleitung werden unabhängig von den beschriebenen Entwicklungen an den bauleitenden Ingenieur nahezu unverändert vormoderne Anforderungen gestellt. Trotz vielfältiger methodischer Anleitungen und Vorschriften für die Bauausführung ist die hier geforderte Tätigkeit teilweise gerade wegen der Vielzahl der Normen im Zusammenspiel mit den in der Praxis zu berücksichtigenden Faktoren durch Erfahrungswissen dominiert.

2. Baugenehmigung und -überwachung stellen, zumindest theoretisch, an die Überprüfung nahezu die gleichen Anforderungen wie Bauleitung und Entwurf. Oftmals sind dort jedoch Ingenieure und Architekten anzutreffen, die nach Beendigung des Studiums und der Ausbildung für den höheren technischen Staatsdienst direkt in derartige Laufbahnen eingeschwenkt sind. Damit fehlt ihnen gelegentlich ein Teil der benötigten Qualifikation.

3. Schon in der Ausschreibung eines Bauprojekts muß in der Regel ein Vorentwurf oder ein fertiger Entwurf enthalten sein, darüber hinaus müssen Eventualitäten und Schlupflöcher vermieden werden. Dabei ist die „Kunst“ gefragt, die benötigten Leistungen einzufordern, jedoch den Bietern genügend Freiraum zu lassen, innovative Lösungen einzubringen.

4. Die Arbeitsvorbereitung hat die eben beschriebenen Freiräume zu nutzen und außerdem den Bauprozess realitätsnah vor auszudenken.

5. Auch die Bauabrechnung kann herangezogen werden, jedoch primär in der wirtschaftlichen Sparte:

„Die Kunst, ein erfolgversprechendes niedriges Angebot zu erarbeiten, besteht jetzt darin, die gesetzlichen Forderungen der HOAI [Honorarordnung für Architekten und Ingenieure – Anm. d. Autors] zu verbiegen, erkannte Probleme einer Aufgabe zu verdrängen und auf seine innovativen Fähigkeiten, nach Erhalt des Auftrages die Angebotssumme durch Nachtragsforderungen zu erhöhen, zu vertrauen. Das Angebot ist spekuliert, nicht kalkuliert.“²⁷

Wie bereits im Titel beschrieben, soll und kann nicht die gesamte Bandbreite der Bauingenieurtätigkeiten betrachtet werden. Da der Konstruktive Ingenieurbau das Zentrum der schöpferischen Tätigkeiten des Bauingenieurs darstellt, soll er im Folgenden in den Mittelpunkt gerückt werden. Etwa ein Drittel der Bauingenieure in Deutschland ist entwerfend tätig.²⁸

An dieser Stelle ist es notwendig, auf die Definition des „Entwurfs“ in der Sprache der Entwurfstheorie einzugehen: Er entspricht der vollständigen, ausführungsreifen Beschreibung des Bauwerks. Der Entwurfsprozess kann dabei in folgende Regelmäßigkeiten unterteilt werden:²⁹

1. erste Analyse- und Beratungsphase
2. Vorentwurfsphase, Systemanalyse
3. Statische Detailbearbeitung
4. Detailkonstruktion
5. Statisch-konstruktive Änderungen.

Zweifellos lassen sich für derartige Abläufe wesentlich diffizilere Modelle nennen. Insbesondere in den Konstruktionswissenschaften des Maschinenbaus waren solche ausgefeilten Modelle in den 1960er und 1970er Jahren inflationär.³⁰

Im Bauwesen jedoch sind generelle Methoden weniger exzessiv gesucht worden. Die Theorien, wie mit entsprechenden Materialien verschiedene Konstruktionen zu berechnen sind, geben schließlich keine Anleitung für ein grundsätzliches Vorgehen. Das kann einerseits auf die besondere Arbeitsteilung in Formgebung und Funktionsbearbeitung durch Architekt und Ingenieur zurückgeführt werden. Andererseits spielt auch der Charakter der meisten Bauwerke als Unikat eine Rolle. Heinz DUDDECK arbeitete dazu einen in vielen Fällen gültigen Zusammenhang heraus: Bei der Lösung technischer Probleme liegt der Theorieaufwand der reinen Praktiker normalerweise zu niedrig. Bei der weiteren Durchdringung kommt es zu theoretischen Arbeiten, die vorerst weit über dem endgültig notwendigen Aufwand liegen, es sei denn, ein genialer Ansatz kann hier Klärung schaffen. Die Theoriekurve flacht dann wieder ab, wobei sich ein erneuter Anstieg bei Schadensfällen ergeben kann – bis es dann zur „Einfachheit der In-

genieur-‘Meisterschaft’“ kommt. Irgendwo unterwegs hat sich allerdings der praxisferne Theoretiker in die Höhen übertriebenen Aufwands entfernt.³¹

Ein spezifisches Problem der Baubranche besteht darin, daß sie keine fertigen Produkte, sondern Dienstleistungen anbietet. Der Entwurf, auch wenn er genehmigt und akquiriert wurde, stellt also keinen Abschluß der Arbeiten dar. Faktoren, welche im Fortgang der Arbeiten Ungewißheiten darstellen, sind zum Beispiel:³²

- sich aus der Ausbautechnologie ergebende Lasten und Aussparungsforderungen,
- Zustand des Baugrundes,
- Vorstellungen des Bauherrn über Nutzungsänderungen und Termine des Baus,
- Anforderungen des Prüfsingenieurs hinsichtlich interpretationsbedürftiger Passagen in den Normen,
- Baustellenablauf (z.B. Materialanlieferung, Unfälle, unerwartete Baugrundaufschlüsse).

Nötig wurden die bereits angesprochenen generellen Modelle erst bei der Suche nach durch Rechentechnik unterstützten Entwurfslösungen, die gemeinhin als CAD-Lösungen bezeichnet werden. Nach Konrad ZUSES Anfängen beim Bau erster Großrechner wurde dieser Weg vor allem durch John H. ARGYRIS im Zeitraum von 1954 bis 1957 bereitet, der das Matrizenkalkül in die Statik einführte.³³

5. Indikatoren

5. 1. Schulen und Stile

Es ist bekannt, daß außer den epochenspezifischen Herangehensweisen auch nationale und gruppeneigene Technik-Stile existieren. So hat Eda KRANAKIS am Beispiel des Brückenbaus in den USA und Frankreich für das 19. Jahrhundert nationale Unterschiede der „engineering culture“ im Bauwesen beschrieben.³⁴ In bezug auf gruppeneigene Stile, die sich in „wissenschaftlichen Schulen“ zeigen, ist für das 20. Jahrhundert die Charakterisierung einer „Berliner Schule“ mit Heinrich MÜLLER-BRESLAU (1851–1925) in Abgrenzung zur „Dresdner Schule“ mit Otto MOHR (1835-1918) verfügbar.³⁵

Neben der Unterscheidung nach den jeweils bevorzugten Konstruktionen und den jeweils vorhandenen natürlichen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen ist darüber hinaus die klassische Unterteilung in „shop culture“ und „school culture“ zu berücksichtigen. Als ein frühes Beispiel kann hier der bei Max Eyth (1836–1906) beschriebene, aber oft mißgedeutete Ausspruch eines jungen deutschen Ingenieurs über seinen englischen Vorgesetzten Thomas

BOUCH angeführt werden: „Jedenfalls freute er sich, wenn ich in zwei Tagen das-selbe herausrechnete, was er in zwei Minuten herausgeföhlt hatte.“³⁶

Ein weiteres Beispiel weist auf tiefer liegende Ursachen. So bemerkte der in-dische Ingenieur JOSHI in den 1960er Jahren, daß es in seiner Heimat zwar eine gute Schulbildung gibt, jedoch die Umsetzung von Kenntnissen in praktischen Tätigkeiten immer wieder auf Schwierigkeiten stieß. Er sah den Grund hierfür im Fehlen jeglichen Kinderspielzeugs, das Anleitung zum Basteln, Werken oder Benutzen von Werkzeugen gibt und bemühte sich daraufhin – allerdings vergeb-lich – um dessen Einführung.³⁷

Einen Schritt weiter war man seit den 50er/60er Jahren in der DDR mit der Einführung des „polytechnischen“ Unterrichts gegangen. Der „Unterrichtstag in der Produktion“ (UTP) bzw. die „Produktive Arbeit“ (PA) in Betrieben der In-dustrie oder der Landwirtschaft stellten an sich eine fruchtbare Idee dar, verka-men aber in vielen Fällen bald zur unbezahlten Arbeit von Kindern und Jugend-lichen. Bemühungen um die Einführung einer Art polytechnischen Unterrichts gibt es gegenwärtig auch im Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Bisher hat je-doch nur die Einbeziehung von Kenntnissen der elektronischen Datenverarbei-tung (EDV) in die Schulbildung Erfolge gezeigt. Der Computer wird dort aller-dings eher als Medium verstanden.

5. 2. Sicherheit und Unsicherheit

Das Prinzip „Versuch und Irrtum“ zeigt sich auf zwei Ebenen. Zum einen läßt es sich in der individuellen und in der Teamarbeit zum Erreichen einer wirtschaftli-chen und technisch ausreichend sicheren Lösung verorten. Zum anderen zeigt es sich bei der Reaktion auf Stör- und Unfälle, also in bezug auf schon Geschaffe-nes. Es sollte nicht vergessen werden, daß für Bauwerke keine Sicherheitsgaran-tie, sondern eine „Versagenswahrscheinlichkeit“ angegeben wird. In das öffentliche Bewußtsein ist dieser Sachverhalt allerdings erst beim Bau von Kernkraftwerken gerückt.

Auch soll der oftmals schmerzliche Erfahrungsgewinn angemerkt sein, wel-cher der Einführung und Anwendung von neuen Techniken oder Technologien folgt. Der Theorie müssen vielfach erst die Erfahrungen ihrer Bewährung in der Praxis hinzugefügt werden. Diesen Zusammenhang finden wir beim Einsatz des Gußeisens für Brücken und besonders Eisenbahnbrücken im 19. Jahrhundert³⁸ genauso wie beim Bau stählerner Fernsehtürme in der Tschechoslowakei in den 1950er Jahren.³⁹

Der regressive Charakter von Normen gegenüber dem „tacit knowledge“ ist auch dann von Bedeutung, wenn nur durch diese Art Ingenieurwissens Probleme bei neuen Technologien erkennbar sind.⁴⁰ Das Beulproblem von Hohlkastenträ-gern beispielsweise war prinzipiell vor Beginn der 1970er Jahre gelöst. Es ereig-

neten sich jedoch zahlreiche Bauunfälle, welche auf die zusätzlichen Belastungen im Bauablauf zurückzuführen waren. Obwohl diese Belastungen bekannt waren, kam es 1973 in der DDR beim Bau der Stauseebrücke Zeulenroda zu einem Unfall. Der Tragwerksplaner hatte sich an die für das fertige Bauwerk festgelegten Normen gehalten, obwohl er wußte, daß diese Bemessungen im Bauablauf höchstwahrscheinlich zum Unfall führen würden.⁴¹

5. 3. Struktur der Ausbildung

Die Diskussionen um Lehrinhalte und die Struktur von Lehranstalten scheinen zunächst die besten Indikatoren zur Einschätzung des für das Berufsfeld benötigten technischen Wissens zu sein. Ein Problem dabei ist jedoch, daß diese programmatischen Äußerungen oftmals keinen Aufschluß über die tatsächlich vermittelten Inhalte geben, genauso wenig, wie man diese aus den Themen für Diplom- oder Doktorarbeiten ablesen kann. Die Qualität der Ausbildung läßt sich erst nach der Bewährung in der Praxis feststellen. Zur systematischen Einsicht in die tatsächlich vermittelten Kenntnisse wäre es beispielsweise gekommen, wenn die Anregungen des Dresdner Ingenieurpädagogen Hans LOHMANN aus dem Jahr 1954 in die Tat umgesetzt worden wären. Seiner Meinung nach war ein abschließendes Urteil über die Qualität der Ausbildung nur mittels einer systematischen und nicht zufälligen Rückkopplung durch Praxisvertreter zu finden.⁴²

5. 4. „Direkte“ Außendarstellung

Das öffentliche Bild der Berufsgruppe der Bauingenieure wird durchaus von den Statements der Akteure in den Medien beeinflusst. Diese Beiträge sind oftmals sehr stringent, nutzen aber in den seltensten Fällen theoretische oder empirische Begründungen.⁴³ In der Phase der Herausbildung der technikwissenschaftlichen Disziplinen lassen sich einige Beispiele des Ersatzes ingenieurmäßiger Einschätzung durch Wissenschaft als Selbstzweck finden. So wird zum Beispiel die Baukonstruktion nach dem Denkgebäude der Statik nachträglich interpretiert. Der äußerst wirtschaftliche Unterspannte Träger, der jedoch statisch unbestimmt ist, verschwand Anfang des 20. Jahrhunderts, als statische Berechnungen zur Legitimation von Entwürfen immer wichtiger wurden. Gleichwohl hätte der Unterspannte Träger sehr gut die Lücke in der Spannweite zwischen Vollwand- und Fachwerkträger füllen können.⁴⁴ Stefan POLONYI wies 1986 in seiner Schrift „Revision des Wissenschaftsverständnisses“ darauf hin, daß die Elastizitätstheorie ebenfalls eine sehr schöne rationale Theorie ist. Nur sei sie im Versagensbereich bei fast allen Baustoffen nicht mehr gültig. Aber gerade dieser Bereich ist für den Ingenieur interessant.⁴⁵

Ein weiteres Beispiel ist das 1953 entstandene Projekt eines Tragwerks, das Konrad WACHSMANN zusammen mit Studenten in Chicago entwickelte. Die

Gruppe versuchte, die Anschlußpunkte von vertikal und horizontal sich berührenden Konstruktionsteilen durch steife Ecken zu ersetzen und Stützen in gebündelte, sich räumlich ausdehnende Elemente aufzulösen. Nach WACHSMANN'S Darstellung entstand daraus ein neues Prinzip der Kräfteableitung, welches wohl nicht mit den etablierten Theorien der Statik zu vereinbaren war. Notwendige Neuuntersuchungen und Interpretationen waren überdies nicht möglich, also erfolgte der Abbruch des Projekts.⁴⁶

5. 5. Patentrecht

Das Patentrecht selbst ist wohl nur in geringem Maße aussagekräftig, da zwar schöpferische Leistungen geschützt werden können, aber letztendlich doch eine schriftliche Fixierung stattfinden muß. Instruktiv ist jedoch die Gegenüberstellung von Patenten und der kreativen Suche nach deren Umgehung. Diese Forderung nach Kreativität im Umgehen von Patenten ist oftmals von der Industrie gestellt worden.⁴⁷

5. 6. Honorare

In der Bundesrepublik Deutschland sind die zuvor separaten Honorarordnungen für Architekten und für Ingenieure 1977 in einer speziellen umfassenden Ordnung – der HOAI – zusammengefaßt worden.⁴⁸ Die nicht abflauende Diskussion zeigt jedoch, daß bei einer schriftlichen Fixierung und der geregelten Entlohnung von kognitiv schöpferischen Prozessen nach wie vor Schwierigkeiten bestehen. Solange sich die Honorare der Architekten und Statiker am Preis der Bauleistung ausrichten, bleibt der Konkurrenzdruck der einzige Regelungsmechanismus.

6. Entwicklungstendenzen

Die Vielzahl der Optimierungsvarianten von Entwurfsarbeit, welche seit den 1970er Jahren vor allem durch die aus der Luftfahrt stammende Methode der finiten Elemente (FEM) geschaffen wurde, kann durchaus als ein „Gelingens-Beweis“ der Wissenschaft gegenüber der „Kunst“ gewertet werden. Die erste abschätzende Studie in der Bundesrepublik Deutschland über Anwendungen der Methode im CAD-Bereich wurde 1975 an der TH Darmstadt beendet.⁴⁹ Die Verwissenschaftlichung der FEM, deren Anwendung erst durch die sich entwickelnde Rechentechnik ermöglicht wurde, zeigte indessen eine Eigendynamik. Die errechnete Genauigkeit ist vom Menschen, wenn überhaupt, so doch nicht mit vertretbarem Aufwand zu erreichen. Doch wenn die Abschätzung von Wechselwirkungen zwischen verschiedensten Lastannahmen, Kräftewirkungen und weiteren physikalischen wie chemischen Einwirkungen, grob gesagt, vor dem Komma stattfinden muß, kann dies nur als Fehlentwicklung bezeichnet werden. So sagte auch Peter ZIMMERMANN Anfang der 1990er Jahre:

„Diese ‘Demokratisierung’ des [EDV-gestützten] Rechnens – oder sollte man eher ‘Proletarisierung’ sagen? – birgt allerdings auch die Gefahr, daß der schöpferisch tätige Bauingenieur ... untergeht in einem Heer von ‘Rechenknechten’, denen oft ein wesentlicher Bestandteil jeder schöpferischen Arbeit fehlt: die Intuition.“⁵⁰

Verstärkt wurden derartige Tendenzen mit der 1970 in der Bundesrepublik vollzogenen Umwandlung der Ingenieurschulen in Hochschulen. Wohin die Tendenz heute geht, ist noch unklar, aber ein neuer Optimismus in bezug auf nun erst ausgereifte dreidimensionale Anwendungen ist nicht zu übersehen.

Oftmals wird Kunst mit der Ästhetik der Technik in Verbindung gesetzt. Ob man aber im Bauwesen von einer „Kunst“ sprechen kann, Form und Funktion miteinander zu verbinden, wie dies bei Robert MAILLART, Pierluigi NERVI und David P. BILLINGTON geschehen ist, oder ob dies nur auf die einfache Befolgung von Regeln zurückzuführen ist, bleibt strittig. Stefan POLONYI hat dazu den Verdacht geäußert:

„Ich befürchte, daß die Konstruktion eben dann statisch und herstellungstechnisch inkonsequent und dadurch aufwendig wird, wenn der Architekt sie zum Thema seiner Architektur macht.“⁵¹

Hans STRAUB junior meinte zum Entwurfsprozeß im Bauwesen:

„Ein wirklich gutes Projekt wird ein Computer nie alleine vollbringen können; dazu ist Inspiration nötig, die der Computer nicht besitzt und wohl auch nie besitzen wird.“⁵²

Diese Prognose verkörpert die eigentliche Änderung im Denken. Daß in absehbarer Zukunft eine totale Verwissenschaftlichung des Konstruktiven Ingenieurbaus nicht möglich sein wird, war den Fachleuten immer geläufig. Neu ist jedoch, daß man die Perspektive der totalen Verwissenschaftlichung ausgeblendet hat und damit verbundene Probleme nicht mehr thematisiert.

Anmerkungen

- 1 Häsleroth, Th.; Mauersberger, K.: Das Dresdner Konzept zu Genese technikwissenschaftlicher Disziplinen – eine Bilanz. In: Blätter für Technikgeschichte 57/58 (1995/96), S. 49–64.
- 2 Lorenz, W.: „Die Formel taugt nichts, sie ist über zwei Zoll lang.“ Zur Kunst des Konstruierens in Preußens frühem Eisenbau. In: Knobloch, E. (Hrsg.): Wissenschaft – Technik – Kunst. Interpretationen – Strukturen – Wechselwirkungen, Wiesbaden 1997, S. 17–36.
- 3 Kräfteplan zur Ermittlung der Stabkräfte in einem ebenen Fachwerk, benannt nach dem italienischen Mathematiker Luigi Cremona (1830–1903).
- 4 Empfehlungen des Wissenschaftsrates zum Ausbau der wissenschaftlichen Einrichtungen. Teil I: Wissenschaftliche Hochschulen, Tübingen 1960.
- 5 Henning, J.; Hönisch, G.: Die Einbeziehung des Studentischen Rationalisierungs- und

-
- Konstruktionsbüros in die Ausbildung. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden 31 (1982), H. 3, S. 25ff.
- 6 Irrgang, B.: Komplexitätssteigerung technischen Handelns als Entwicklungsprinzip einer hermeneutischen Geschichtsphilosophie der Technik. In: Corona, N. A.; Irrgang, B.: Technik als Geschick? Geschichtsphilosophie der Technik bei Martin Heidegger. Eine handlungstheoretische Entgegnung, Dettelbach 1999, S. 149–261.
 - 7 Ferguson, E. S.: Das innere Auge. Von der Kunst des Ingenieurs, Basel/Boston/Berlin 1993.
 - 8 Vincenti, W. G.: What Engineers Know and How They Know It. Analytical Studies from Aeronautical History, Baltimore 1990.
 - 9 Buchheim, G.; Sonnemann, R. (Hrsg.): Geschichte der Technikwissenschaften, Leipzig 1990.
 - 10 Polanyi, M.: Implizites Wissen, Frankfurt a. M. 1985; Ders.: Personal Knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy, London 1973. Johannes Müller, Leiter des Zentralen Arbeitskreises „Rationelles Konstruieren“ der DDR, regte in Kritik am „Neudeutsch“ an, man brauche eigentlich keine komplizierten Übertragungen wie „implizit“ oder „wortlos“, Brief Müllers an den Autor vom 14. November 2000.
 - 11 Heymann, M.; Wengenroth, U.: „Kunst“ und Wissenschaft in der Technik des 20. Jahrhunderts. Zur Bedeutung von „tacit knowledge“ bei der Gestaltung von Technik. In: Beck, U.; Bonß, W. (Hrsg.): „Reflexive Modernisierung“ – Überlegungen zur Transformation der industriellen Moderne (im Erscheinen).
 - 12 Exemplarisch ist die Häufung von Artikeln zum Thema in der VDI-Zeitschrift.
 - 13 Eyth, M.: Lebendige Kräfte. Sieben Vorträge aus dem Gebiet der Technik, Berlin 1905.
 - 14 Mach, E.: Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung, 2. Aufl. Leipzig 1906.
 - 15 Poincaré, H.: Der Wert der Wissenschaft, Leipzig 1906.
 - 16 Polya, G.: Schule des Denkens. Vom Lösen mathematischer Probleme, Bern 1949.
 - 17 Denk, F.: Die mathematische Erfindung mit Ausblicken auf eine allgemeine Heuristik, Regensburg 1951.
 - 18 Piotrowski, S. (Hrsg.): Kybernetische Ursprünge der europäischen Bildungstechnologie. Eine Dokumentation der Feststunde an der Technischen Universität Berlin zum 100. Geburtstag von Norbert Wiener und Hermann Schmidt sowie der Stiftung des Wiener-Schmidt-Preises für herausragende Beiträge zur Förderung der Theoretischen Grundlagen der Bildungstechnologie, Berlin/Paderborn 1996.
 - 19 Denk, Die mathematische Erfindung, hintere Umschlagseite.
 - 20 Freyssinet, E.: Une révolution dans l’art de bâtir. Les constructions précontraintes. In: Travaux 101 (1941), S. 335ff.
 - 21 Siehe z. B.: Rondelet, J. B.: Traité Théorique et pratique de l’art de Bâtir, 6 Bde., Paris 1802–1817.
 - 22 Ferguson, Das innere Auge, S. 186.
 - 23 Leonhardt, F.: Der Bauingenieur und seine Aufgaben, 2. Aufl., Stuttgart 1981, S. 203ff.
 - 24 Seit 1986 erschien in der DDR eine Lehrbriefreihe als Grundlage für „Kreativitätstrainingskurse“. Die Abteilung Wissenschaftspsychologie der Bauakademie beteiligte sich an der Herausgabe der Reihe. Die Darstellung der Grundlagen und Ziele in: Einführung in die Lehrbriefreihe „Grundlagen des wissenschaftlich-technischen Schöpfungstums in Forschungs- und Entwicklungsprozessen“, 3. Aufl., Berlin/Jena 1986. Siehe auch: Altschuller, G. S.: Erfinden – (k)ein Problem, Berlin 1973.
 - 25 Die Reihenfolge dieser Aufzählung ist willkürlich und nicht als temporär vorgeschrieben anzusehen.

-
- 26 Der gemeinsame Weg: Architekten und Ingenieure im Dortmunder Modell Bauwesen – Idee und Wirklichkeit eines Lehrkonzeptes, Dortmund-Hombruch 1984.
 - 27 Kiefer, G.: Sind Ingenieurhonorare noch kalkulierbar? In: Der Bauingenieur 72 (1997) 12, S. A12.
 - 28 Ekardt, H.-P.: Entwurfsarbeit. Organisations- und handlungstheoretische Ansätze zur soziologischen Analyse der Arbeit von Bauingenieuren im Tragwerksentwurfsbereich, Dissertation, TH Darmstadt 1977, S. 23.
 - 29 Das., S. 47f.
 - 30 Eine vereinfachte Darstellung nur der neun wichtigsten Konstruktionsmethoden der Zeit bei: Herrig, D.; Müller, H.: Rationalisierung im Konstruktionsbereich – ein Überblick, Teil I (Institut für Fachschulwesen der DDR), o. O. o. J., S. 88.
 - 31 Duddeck, H.: Umsetzen des Entwurfswissens im praktischen Handeln der Bauingenieure. Abb. 6, S. 291. In: Pahl, G. (Hrsg.): Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des Ladenburger Diskurses von Mai 1992 bis Oktober 1993, Köln 1994, S. 286–298.
 - 32 Ekardt, Entwurfsarbeit, S. 76.
 - 33 Kurrer, K.-E.: Von der Kunst zur Automation des statischen Rechnens. In: Schwarz, K. (Hrsg.): 1799–1999. Von der Bauakademie zur Technischen Universität Berlin. Geschichte und Zukunft. Eine Ausstellung der Technischen Universität Berlin aus Anlaß des 200. Gründungstages der Bauakademie und des Jubiläums 100 Jahre Promotionsrecht der Technischen Hochschulen. Aufsätze, Berlin 2000, S. 188–199.
 - 34 Kranakis, E.: Constructing a Bridge. An Exploration of Engineering Culture, Design, and Research in Nineteenth Century France and America, London 1997.
 - 35 Kurrer, K.-E.: Die Berliner Schule der Baustatik. In: Schwarz, K. (Hrsg.): 1799–1999, S. 152–163.
 - 36 Eyth, M.: Hinter Pflug und Schraubstock. Skizzen aus dem Taschenbuch eines Ingenieurs, 88. Aufl., Stuttgart/Berlin o. J., S. 431.
 - 37 Leonhardt, F.: Baumeister in einer umwälzenden Zeit. Erinnerungen, Stuttgart 1984, S. 187.
 - 38 Koerte, A.: Two Railway Bridges of an Era: technical progress, disaster and new beginning in Victorian engineering (Zwei Eisenbahnbrücken einer Epoche: technischer Fortschritt, Disaster und Neubeginn in der Viktorianischen Ingenieurbaukunst. Firth of Forth and Firth of Tay), Basel/Boston/Berlin 1992.
 - 39 Wanke, J.: Probleme beim Entwurf von hohen Masten und Türmen für Rundfunk und Fernsehen. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Dresden 9 (1959/60), S. 645–651.
 - 40 Schlaich hat die immer exzessivere Anwendung von Normen und die resultierende Kreativitätshemmung bemängelt, wegen welcher der deutsche Brückenbau seit 15 Jahren weit hinter dem Ausland zurückhinkt. Schlaich, J.: Brückenbau-Baukultur? In: Der Bauingenieur 75 (2000), Nr. 6, S. A4f.
 - 41 Ekardt, H.-P.: Die Stauseebrücke Zeulenroda. Ein Schadensfall und seine Lehren für die Idee der Ingenieurverantwortung. In: Der Stahlbau 67 (1998) H. 9, S. 735ff.
 - 42 Lohmann, H.: Konstrukteurausbildung an Hoch- und Fachschulen im Rahmen der Ingenieur-erziehung. In: Bericht über die I. Tagung der Konstrukteure am 12. und 13. März 1954 in Leipzig, veranstaltet vom Fachausschuß „Konstruktion“ des Fachverbandes Maschinenbau der Kammer der Technik, Berlin 1954, S. 189–204.
 - 43 Meist feuilletonartig abgefaßte Vorworte in Zeitschriften. Als Einzelfall eher wertlos, doch in ihrer Dichte, wie oben schon angedeutet, sehr aufschlußreich, z.B.: Greiner, R.: Wissenschaft – Praxis – Normung. In: Der Bauingenieur 74 (1999) Nr. 10, S. A3.
 - 44 Mit „Einführung der Statik“ sind wohl die immer stärker geforderten statischen Nachweise

-
- für Bauwerke gemeint, ermöglicht durch numerische Berechnungsmethoden. In: Polónyi, S.: Der Einfluß des Wissenschaftsverständnisses auf das Konstruieren. In: Graefe, R. (Hrsg.): Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989, S. 240.
- 45 Ders.: Revision des Wissenschaftsverständnisses. In: Petzinger, R.: Revision des Wissenschaftsverständnisses. Festschrift des Fachbereichs Architektur der Universität Gesamthochschule Kassel zur Verleihung der Ehrendoktorwürde an Professor Dr.-Ing. E. h. Stefan Polónyi. Kassel 1986, S. 26.
- 46 Wachsmann, K: Wendepunkt im Bauen. Wiesbaden 1959, S. 194.
- 47 Lohmann, Konstrukteurausbildung, S. 198.
- 48 Rusam, M.: HOAI-Praxis bei Ingenieurleistungen. Anleitung zur Anwendung der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, Teile VII bis XIII, 4. Aufl., Wiesbaden/Berlin 1991, S. 5.
- 49 Schwarz, H. u. a.: Programmwünsche – Weiße Flecken – (PROWUE). Studie über Einsatz und Entwicklungsbedarf von Anwendungsprogrammen für die Datenverarbeitung im Bauwesen (Heft 1: Kurze Zusammenfassung der Ergebnisse; Heft 2: Auswertung und Umfrageergebnisse im Einzelnen; Heft 3: Überlegungen zur weiteren Entwicklungen der Datenverarbeitung und deren Förderung), Wiesbaden 1975.
- 50 Zimmermann, P.: Rechnung ohne Grenzen: der Siegeszug der elektronischen Datenverarbeitung. In: Straub, H.: Die Geschichte der Bauingenieurkunst. Ein Überblick von der Antike bis in die Neuzeit, 4. Aufl., herausgegeben von Peter Zimmermann unter Mitarbeit von Niklaus Schnitter und Hans K. Straub jun., Basel/Boston/Berlin 1992, S. 358.
- 51 Polonyi, S.: Der Einfluß des Wissenschaftsverständnisses auf das Konstruieren. In: Graefe, R. (Hrsg.): Zur Geschichte des Konstruierens, Stuttgart 1989, S. 244.
- 52 Straub, H. jun.: Der Ingenieur im Spannungsfeld der großen Weltprobleme. In: Straub, Geschichte der Bauingenieurkunst, S. 359. Straub führt in seinem Werk die bereits angesprochene Tradition weiter und verwendet im Titel explizit den Begriff „Bauingenieurkunst“.

Anschrift des Verfassers

Falk Seliger, M.A.
Münchner Zentrum für Wissenschafts- und Technikgeschichte
Deutsches Museum
D-80306 München